

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
28. Februar 2002 (28.02.2002)

PCT

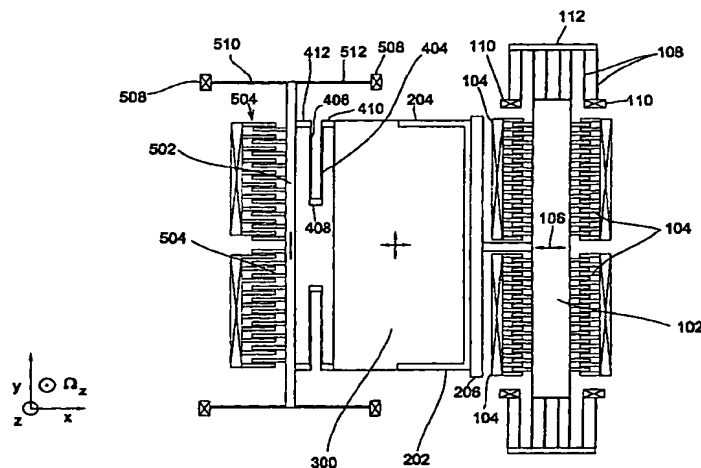
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 02/16871 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: G01C 19/56 (72) Erfinder; und  
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP01/09400 (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): GEIGER, Wolfram  
(22) Internationales Anmeldedatum: 14. August 2001 (14.08.2001) [DE/DE]; Peter-Garten 3, 78078 Nidereschach (DE).  
LANG, Walter [DE/DE]; Ruhsteinweg 23, 78050 Villingen-Schwenningen (DE).  
(25) Einreichungssprache: Deutsch (74) Anwälte: SCHOPPE, Fritz usw.; Schoppe, Zimmermann, Stöckeler & Zinkler, Postfach 71 08 67, 81458 München (DE).  
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch  
(30) Angaben zur Priorität: 100 40 418.9 18. August 2000 (18.08.2000) DE (81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.  
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): HAHN-SCHICKARD GESELLSCHAFT FÜR ANGEWANDTE FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Wilhelm-Schickard-Strasse 10, 78052 Villingen-Schwenningen (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: ROTATION SPEED SENSOR AND ROTATION SPEED SENSOR SYSTEM

(54) Bezeichnung: DREHRATENSOR UND DREHRATENSORSYSTEM



(57) Abstract: The invention relates to a rotation speed sensor comprising a primary oscillator (102), a test mass (300) and a secondary oscillator (502). The primary oscillator (102) is suspended in such a way that it can only execute a primary oscillation. Similarly, the secondary oscillator (502) is suspended in such a way that it can only perform a secondary oscillation. The primary oscillator (102) is connected to the test mass (300) in such a way that the first oscillation is transmitted but the secondary oscillation of the test mass is not transmitted to the primary oscillator (102). The test mass (300) is also connected to the secondary oscillator in such a way that the secondary oscillation is transmitted from the test mass (300) to the secondary oscillator (502) but the primary oscillation is not transmitted to the secondary oscillator (502). As a result, the inventive rotation speed sensor has a double decoupled structure which minimizes feedback occurring between excitation and detection.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

**(57) Zusammenfassung:** Ein Drehratensensor umfaßt einen Primärschwinger (102), eine Probemasse (300) und einen Sekundärschwinger (502), wobei der Primärschwinger (102) so aufgehängt ist, daß er lediglich die Primärschwingung ausführen kann. Analog dazu ist der Sekundärschwinger (502) so aufgehängt, daß er nur die Sekundärschwingung durchführen kann. Der Primärschwinger (102) ist mit der Probemasse (300) so verbunden, daß zwar die Primärschwingung übertragen wird, daß jedoch die Sekundärschwingung der Probemasse nicht auf den Primärschwinger (102) übertragen wird. Die Probemasse (300) ist mit dem Sekundärschwinger (502) ferner so verbunden, daß zwar die Sekundärschwingung von der Probemasse (300) auf den Sekundärschwinger (502) übertragen wird, daß jedoch die Primärschwingung nicht auf den Sekundärschwinger (502) übertragen wird. Somit weist der erfindungsgemäße Drehratensensor eine zweifach entkoppelte Struktur auf, die Rückwirkungen zwischen Anregung und Erfassung minimiert.

## Drehratensensor und Drehratensensorsystem

### Beschreibung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf Drehratensensoren und insbesondere auf Drehratensensoren, bei denen die Rückwirkung von der Sekundärschwingung aufgrund einer Coriolis-Kraft auf die Anregungseinrichtung zum Erzeugen einer Primärschwingung einerseits und die Übertragung der Primärschwingung auf die Erfassung der Sekundärschwingung andererseits weitestgehend minimiert sind.

Vibrierende Coriolis-Kraft-Drehratensensoren besitzen vielfältige Anwendungsfelder, von denen beispielsweise die Positionsbestimmung eines Automobils oder eines Flugzeuges zu nennen ist. Allgemein besitzen solche Sensoren eine bewegliche mechanische Struktur, welche zu einer periodischen Schwingung angeregt wird. Diese periodische, durch Anregung erzeugte Schwingung wird als Primärschwingung bezeichnet. Erfährt der Sensor eine Drehung um eine Achse senkrecht zur Primärschwingung oder Primärbewegung, so führt die Bewegung der Primärschwingung zu einer Coriolis-Kraft, die proportional zur Meßgröße, d.h. der Winkelgeschwindigkeit, ist. Durch die Coriolis-Kraft wird eine zweite, zur Primärschwingung orthogonale Schwingung angeregt. Diese zweite, zur Primärschwingung orthogonale Schwingung wird Sekundärschwingung genannt. Die Sekundärschwingung, die auch als Detektionsschwingung bezeichnet wird, kann durch verschiedene Meßverfahren erfaßt werden, wobei ihre Amplitude als Maß für die auf den Drehratensensor wirkende Drehrate dient.

Um die Primärschwingung zu erzeugen, werden unter anderem thermische, piezoelektrische, elektrostatische und induktive Verfahren verwendet, welche in der Technik bekannt sind. Zu der Erfassung der Sekundärschwingung sind piezoelektrische, piezoresistive und kapazitive Prinzipien Stand der Technik.

Bekannte mikromechanische Drehratensensoren sind in K. Funk, A. Shilp, M. Offenberger, B. Elsner und F. Lärmer, "Surface Micromachining Resonant Silicon Structures", The 8th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators, Eurosensors IX, NEWS, S. 50-52, beschrieben. Insbesondere weist ein in dieser Schrift beschriebener bekannter quasi-rotierender Drehratensensor einen kreisförmigen Schwinger auf, der in zwei Richtungen drehbar an einer Basis aufgehängt ist. Der Schwinger des bekannten Drehratensensors zeigt eine bezüglich einer x-y-Ebene scheibenförmige Gestalt, wobei an zwei sich gegenüberliegenden Seiten der Scheibe Kammelektroden-Konfigurationen angebracht sind. Eine Kammelektroden-Konfiguration wird zum Treiben des Schwingkörpers verwendet, wobei sich dieselbe aus feststehenden Kammelektroden und den Kammelektroden des Schwingers, die in die feststehenden Kammelektroden eingreifen, zusammensetzt. Eine dazu ähnliche Kammelektrodenanordnung besteht aus feststehenden Kammelektroden, die in entsprechende Kammelektroden eingreifen, die an dem Primärschwinger angebracht sind. Die eingangsseite Kammelektroden-Konfiguration zum Treiben des Schwingers, die auch Combdrive genannt wird, ist auf geeignete Weise mit einer Erregungsspannung verbunden, derart, daß eine erste Kammelektroden-Konfiguration mit einer Wechselspannung gespeist wird, wohingegen eine zweite Kammelektroden-Konfiguration des Combdrives mit einer zur ersten Spannung um  $180^\circ$  phasenverschobenen zweiten Spannung gespeist wird. Durch die angelegte Wechselspannung wird der Schwinger zu einer Drehschwingung um die z-Achse erregt, die auf der x-y-Ebene senkrecht steht. Die Schwingung des Schwingers in der x-y-Ebene ist die vorher genannte Primärschwingung.

Wird der bekannte Drehratensensor nun mit einer bestimmten Winkelgeschwindigkeit um eine y-Achse gedreht, so wirkt auf den Schwinger eine Coriolis-Kraft, die zu der angelegten Winkelgeschwindigkeit um die y-Achse proportional ist. Diese Coriolis-Kraft erzeugt eine Drehschwingung des Schwingers um die x-Achse. Diese Drehschwingung oder periodische "Verkip-

pung" des Schwingers um die x-Achse kann mit den beiden unter dem Sensor liegenden Elektroden kapazitiv gemessen werden.

Ein Nachteil dieser bekannten Struktur besteht darin, daß die Primärschwingung und die Sekundärschwingung, die die Schwingung des Schwingkörpers aufgrund der auf denselben wirkenden Coriolis-Kraft ist, von einem einzigen Schwinger ausgeführt werden, der mittels eines zweiachsigen Gelenks aufgehängt ist, um die beiden zueinander orthogonalen Schwingungen ausführen zu können. Die beiden Schwingungsmoden, d.h. die Primärschwingung und die Sekundärschwingung, sind daher nicht voneinander entkoppelt, weshalb die Eigenfrequenzen der Primär- und der Sekundärschwingung nicht unabhängig voneinander genau abgeglichen werden können, um eine möglichst hohe Erfassungsgenauigkeit des Drehratensensors zu erreichen. Ferner führt bei dem bekannten Drehratensensor die Sekundärschwingung dazu, daß die Kammelektrodenanordnung zum Treiben des Schwingers verkippt wird, wodurch die Primärschwingung von der Sekundärschwingung beeinflusst wird. Dadurch wird die Primärschwingung als Reaktion auf die Rückwirkung der Sekundärschwingung auf die Primärschwingung, d.h. als Reaktion auf eine Verkipfung des Combdriives zur Erzeugung der Primärschwingung, unkontrolliert geändert und damit das Meßsignal verfälscht.

Ein weiterer bekannter Drehratensensor, der in dieser Schrift beschrieben ist, umfaßt zwei voneinander getrennte Schwingungsmassen, die durch jeweilige Combdriives, die über Federbalken mit jeweils einer Masse verbunden sind, in eine gegenphasige Schwingung versetzt werden können. Die beiden Massen sind über eine Federbalkenanordnung miteinander verbunden und führen aufgrund einer Aufhängung der Anordnung aus den beiden Massen und den Verbindungsstegen der Massen eine Drehschwingung in der x-y-Ebene durch, wenn der Drehratensensor einer Drehung um die z-Achse unterzogen wird. Eine Verschiebung der Anordnung aus den beiden Massen und den Federbalken, welche die Massen untereinander verbinden,

in der y-Achse als Reaktion auf eine Drehung dieser Anordnung wird mittels vier Kammelektroden-Konfigurationen kapazitiv erfaßt.

Genauso wie der erste beschriebene bekannte Drehratensensor weist auch der zweite bekannte Drehratensensor lediglich einen einzigen Schwinger für sowohl die Primär- als auch die Sekundärschwingung auf, wodurch die beiden orthogonalen Schwingungsmoden miteinander verkoppelt sind, und die durch die Coriolis-Kraft erzeugte Sekundärschwingung auf die Primärschwingung rückwirken kann. Auch diese Struktur erlaubt daher keinen genauen, selektiven Abgleich der Eigenfrequenzen der Primär- und der Sekundärschwingung.

Ein weiteres bekanntes Vibrationsgyroskop ist in dem Artikel von P.Greiff u.a. mit dem Titel "*Silicon Monolithic Micro-mechanical Gyroscope*" in dem Konferenzband der Transducers 1991 auf den S. 966 bis 968 beschrieben. Dieses Gyroskop ist eine zweifach kardanische Struktur in der x-y-Ebene, die durch Torsionsfedern getragen wird. Eine rahmenförmige erste Schwingerstruktur umgibt eine plattenförmige zweite Schwingerstruktur. Die zweite Schwingerstruktur weist ein Trägheitselement auf, das aus der Ebene derselben in der z-Richtung vorsteht. Im Betrieb wird eine rotatorische Erregung um die y-Achse der ersten Schwingerstruktur über Torsionsfedern, die in Richtung der ersten Schwingung steif sind, auf die zweite Schwingerstruktur übertragen. In der Anwesenheit einer Drehwinkelgeschwindigkeit um die z-Achse wird eine Coriolis-Kraft in der y-Richtung erzeugt, die an dem vorstehenden Trägheitselement oder Gyroelement angreift, um die zweite Schwingerstruktur um die x-Achse auszulenken, wodurch die zweite Schwingerstruktur eine zur Erregungsschwingung orthogonale Coriolis-Schwingung um die x-Achse ausführt, die durch die Torsionsfedern, die die zweite Schwingerstruktur an der ersten Schwingerstruktur aufhängen, ermöglicht wird. Die Coriolis-Kraft, die bei diesem Gyroskop lediglich in y-Richtung anliegt, führt nicht zu einer Bewegung der restlichen Struktur, da dieselbe in der y-Richtung fest gehalten

ist. Lediglich das in z-Richtung vorstehende Gyroelement bietet einen Angriffspunkt für die Coriolis-Kraft, damit dieselbe eine meßbare zur Zwangsdrehung proportionale Bewegung bewirken kann.

Die DE 19641284 C1 offenbart einen Drehratensensor mit entkoppelten orthogonalen Primär- und Sekundärschwingungen, der einen Primäroszillator, einen Sekundäroszillator, eine Primärschwingeraufhängung und eine Sekundärschwingeraufhängung aufweist, wobei die Primärschwingeraufhängung den Primärschwinger in Richtung der Primärbewegung führt, und die Sekundärschwingeraufhängung die Primärbewegung auf den Sekundärschwinger überträgt und den Sekundärschwinger in der Richtung der Sekundärbewegung führt, und eine Übertragung der Sekundärbewegung zurück auf den Primärschwinger im wesentlichen verhindert. Anders ausgedrückt hat der Primärschwinger aufgrund der Primärschwingeraufhängung lediglich einen Bewegungsfreiheitsgrad, nämlich in Richtung der Primärschwingung. Der Sekundärschwinger hat jedoch aufgrund der Sekundärschwingeraufhängung zwei Freiheitsgrade, nämlich in Richtung der Primärschwingung und in Richtung der Sekundärschwingung. Die Primärschwingung wird also direkt auf den Sekundärschwinger übertragen und die durch Drehung des Sensors, d. h. aufgrund der dann einsetzenden Coriolis-Kraft, erzeugte Sekundärschwingung wird nicht auf den Primärschwinger übertragen. Ein wesentlicher Vorteil dieses bekannten Drehratensensors besteht darin, daß der Antrieb der Primärschwingung nicht durch die Sekundärschwingung beeinflußt wird. Nichtideale Eigenschaften, beispielsweise von elektrostatischen Kammantrieben, welche auch als Levitation bezeichnet werden, können weitgehend unterdrückt werden, da die Antriebseinheit, welche dem Primärschwinger zugeordnet ist, einen einzigen Freiheitsgrad besitzt.

Die WO 99/12092 offenbart mikromechanisch hergestellte Gyroskope mit einem ersten und einem zweiten koplanaren Körper, welche über einem Substrat aufgehängt sind und in ihrer Ebene relativ zum Substrat bewegbar sind. Der erste Körper

wird entlang einer Anregungsachse angeregt und ist relativ zu dem zweiten Körper bewegbar. Der zweite Körper ist so verankert, daß er sich nicht entlang der Bewegungsachse des ersten Körpers bewegen kann, jedoch zusammen mit dem ersten Körper entlang der Transversalachse.

Die WO 00/29855 offenbart ein Multielement-Mikro-Gyroskop mit einem Antriebselement, das um die Antriebsachse und eine Ausgabeachse schwingt. Die Schwingung des Antriebselements um die Ausgangsachse hat eine kleine Amplitude, ist jedoch für die Funktion des Sensors unabdingbar nötig. Weiterhin hat das Gyroskop ein Ausgabeelement, das um die Ausgangsachse schwingt. Die Coriolis-Kraft wird von dem Ausgabeelement zu dem Eingabeelement übertragen. Damit wird die Bewegung des Antriebselements um die Antriebsachse nicht auf das Ausgabeelement übertragen. In diesem Sinne sind sie entkoppelt.

Der Drehratensensor, der in der WO 99/12002 offenbart ist, und der Drehratensensor, der in der WO 00/29855 offenbart ist, haben gemeinsam, daß der Primärschwinger mit zwei Freiheitsgraden ausgestattet ist, während der Sekundärschwinger mit nur einem Freiheitsgrad ausgestattet ist. Die Primärschwingung wird bei diesen beiden Drehratensensoren nicht auf den Sekundärschwinger übertragen, während die Sekundärschwingung, die aufgrund der Coriolis-Kraft bei einer Drehung des Sensors erzeugt wird, auf den Sekundärschwinger übertragen wird.

Nachteilig an sämtlichen bekannten Drehachsensensoren ist die immer noch nicht optimale Entkopplung von Anregung und Erfassung, d. h. Primärschwingung und Sekundärschwingung.

Insbesondere können Fehlersignale, die mit einer Bewegung des Sekundärschwingers entsprechend dem ersten Freiheitsgrad zusammenhängen, zwar unterdrückt werden, da beim Sekundärschwinger dieser Freiheitsgrad unterbunden ist. Eine Rückwirkung der Sekundärschwingung auf das Antriebselement



wird dagegen nicht unterdrückt.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, einen Drehratensensor sowie ein Drehratensensorsystem zu schaffen, bei denen Fehlersignale aufgrund unerwünschter Rückwirkungen minimiert sind.

Diese Aufgabe wird durch einen Drehratensensor nach Patentanspruch 1 sowie durch ein Drehratensensorsystem nach Patentanspruch 10 gelöst.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, daß für eine vollständige Entkopplung von Primär- und Sekundärschwingung bzw. von Anregung und Erfassung von dem Konzept mit zwei Schwingern weggegangen werden muß und stattdessen auf drei Schwinger übergegangen werden muß. Der Primärschwinger, der durch eine Anregung, die vorzugsweise elektrostatisch durchgeführt wird, in eine Primärschwingung versetzt wird, wird von einer Primärschwingeraufhängung bezüglich des Basisbauglieds derart gehalten, daß er lediglich eine Primärschwingung durchführen kann. Die Primärschwingung wird über eine Anregungs-Probemasse-Kopplungseinrichtung auf eine Probemasse übertragen, welche sowohl die Primärschwingung als auch die Sekundärschwingung aufgrund einer Coriolis-Kraft ausführen kann. Die Anregungs-Probemasse-Kopplungseinrichtung ist nun derart ausgelegt, daß sie zwar die Primärschwingung auf die Probemasse übertragen kann, daß sie jedoch hinsichtlich der Sekundärschwingung elastisch ist, so daß die Sekundärschwingung der Probemasse nicht zurück zum Primärschwinger übertragen werden kann. Im Gegensatz zum Stand der Technik, der lediglich zwei Schwinger verwendet, wird die Erfassung nicht aufgrund der Auslenkung der Probemasse durchgeführt, sondern die Sekundärschwingung wird über eine Probemasse-Erfassungs-Kopplungseinrichtung auf einen Sekundärschwinger übertragen, der mittels einer Sekundärschwingeraufhängung derart aufgehängt ist, daß er lediglich in Sekundärschwingungsrichtung schwingen kann, während er in den beiden anderen dazu orthogonalen Richtungen starr auf-

gehängt ist. Die Probemasse-Erfassungs-Kopplungseinrichtung wiederum ist derart ausgelegt, daß sie zwar die Sekundärschwingung starr auf den Sekundärschwinger überträgt, daß sie jedoch in Richtung der Primärschwingung elastisch ist.

Somit ist ein zweifach entkoppelter Drehratensensor geschaffen, der einen Primärschwinger aufweist, der lediglich zur Anregung dient, der einen Sekundärschwinger aufweist, der lediglich zur Erfassung dient, und der zusätzlich eine Probemasse aufweist, die gewissermaßen dazu vorgesehen ist, aufgrund der Coriolis-Kraft in Sekundärschwingung versetzt zu werden. Es wird darauf hingewiesen, daß lediglich die Probemasse beide Schwingungen, also die Primärschwingung und die Sekundärschwingung ausführt, während die anderen Elemente lediglich eine einzige Schwingung aufgrund ihrer jeweiligen Aufhängungen ausführen können.

Durch die zueinander gewissermaßen orthogonale Ausgestaltung der Anregungs-Probemasse-Kopplungseinrichtung, welche zwar die Primärschwingung überträgt, in Richtung der Sekundärschwingung jedoch elastisch ist, um diese nicht auf den Primärschwinger zu übertragen, und der Probemasse-Erfassungs-Kopplungseinrichtung, welche zwar in Sekundärschwingungsrichtung starr ist, jedoch in Primärschwingungsrichtung elastisch ist, um nicht die Primärschwingung auf den Sekundärschwinger zu übertragen, ist eine optimale Entkopplung von Anregung und Erfassung geschaffen, so daß die Sekundärschwingung nicht zurück auf den Primärschwinger, also die Anregung wirkt, während gleichzeitig nicht die Anregung auf die Erfassung Auswirkungen hat, zumal die Erfassungsschwingungen typischerweise in Größenordnungen kleiner als die Anregungsschwingungen sind.

Es sei darauf hingewiesen, daß jegliche Federeinrichtungen, also sowohl die Primärschwingeraufhängung als auch die Sekundärschwingeraufhängung als auch die Anregungs-Probemasse-Kopplungseinrichtung als auch die Probemasse-Erfassungs-Kopplungseinrichtung immer nur in einer Richtung ela-

stisch sind, während sie in den beiden anderen Richtungen starr sind, so daß durch das erfindungsgemäße Zusammenspiel erreicht werden kann, daß sowohl der Primärschwinger der Anregungseinheit als auch der Sekundärschwinger der Erfassungseinheit lediglich einen Freiheitsgrad der Bewegung haben, während lediglich die Probemasse in beiden Richtungen ausgelenkt werden kann, wobei jedoch die Probemasse nicht unmittelbar zur Erfassung der Coriolis-Auslenkung herangezogen wird.

Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend bezugnehmend auf die beiliegenden Zeichnungen detailliert erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Prinzipschaltbild des erfindungsgemäßen Konzepts;

Fig. 2 einen erfindungsgemäßen Drehratensensor;

Fig. 3 einen erfindungsgemäßen Drehratensensor gemäß einem alternativen Ausführungsbeispiel;

Fig. 4 ein Drehratensensorsystem mit gekoppelten Primärschwingern; und

Fig. 5 ein Drehratensensorsystem mit gekoppelten Primärschwingern und mit gekoppelten Sekundärschwingern.

Im nachfolgenden wird auf Fig. 1 Bezug genommen, um die prinzipielle Ausgestaltung eines erfindungsgemäßen Drehratensensors näher zu erläutern. Der erfindungsgemäße Drehratensensor setzt sich aus einer Anregungseinheit 100, einer Anregungs-Probemasse-Kopplungseinrichtung 200, einer Probemasse 300, einer Probemasse-Erfassungs-Kopplungseinrichtung 400 und einer Erfassungseinheit 500 zusammen. Die Anregungseinheit 100 umfaßt einen Primärschwinger, der eine Primärschwingung ausführt, welche durch einen entsprechenden Wandler, wie z. B. einen "Comdrive" oder Kammantrieb aus einem

typischerweise elektrischen Anregungssignal 600 erzeugt wird. Wenn eine Coriolis-Kraft bei einer Drehung des Sensors um eine entsprechende Achse erzeugt wird, so gibt die Erfassungseinheit 500 als Ausgangssignal eine typischerweise elektrische Größe als Ausgangssignal 700 aus, wobei das Ausgangssignal ein Maß für die Drehung des Sensors ist. Aus dem in Fig. 1 gezeigten Blockschaltbild wird deutlich, daß sowohl für die Anregung als auch die Erfassung zwei Einheiten vorgesehen sind, die über sowohl die Anregungs-Probemassen-Kopplungseinrichtung 200 als auch die Probemassee-Erfassungs-Kopplungseinrichtung 400 entkoppelt sind. Beim erfindungsgemäßen Drehratensensor handelt es sich somit um einen zweifach entkoppelten Drehratensensor, bei dem die Auslenkung der Probemassee in Richtung der Coriolis-Kraft, also die Sekundärschwingung, nicht unmittelbar zur Drehratendetektion eingesetzt wird, sondern zunächst über die Probemassen-Erfassungs-Kopplungseinrichtung auf die Erfassungseinheit 500 übertragen wird, um erst dann abgenommen zu werden, um das Ausgangssignal 700 zu erzeugen.

Aufgrund der erfindungsgemäßen Trennung der Funktionalitäten können sowohl die Anregungseinheit als auch die Erfassungseinheit derart ausgestaltet werden, daß der Primärschwinger in der Anregungseinheit und der Sekundärschwinger in der Erfassungseinheit so mittels einer Primärschwingeraufhängung bzw. einer Sekundärschwingeraufhängung gegenüber einem Basisbauglied getragen werden können, daß kein Schwinger eine parasitäre Bewegung ausführt. Die Entkopplung der Probemassee von der Anregungseinheit, also daß keine Sekundärschwingung auf die Anregungseinheit übertragen wird, wird durch die Anregungs-Probemassee-Kopplungseinrichtung 200 erreicht, die ansonsten steif ist, jedoch lediglich in der Richtung der Sekundärschwingung elastisch ist, so daß die Sekundärschwingung der Probemassee nicht auf die Anregungseinheit übertragen werden kann. Analog dazu ist die Probemassen-Erfassungs-Kopplungseinrichtung 400 ausgeführt, die ansonsten steif ist, jedoch in Richtung der Primärschwingung elastisch ist, so daß eine Primärschwingung der Probemassee 300 nicht

auf die Erfassungseinheit 500 und insbesondere den Sekundärschwinger derselben übertragen werden kann, da Schwingungen lediglich über im wesentlichen steife Verbindungen übertragen werden können, während eine elastische Verbindung dazu führt, daß die Schwingung aufgrund der Elastizität der Verbindung nicht auf das jeweilige andere Element übertragen werden kann.

Fig. 2 zeigt einen Drehratensensor gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Links unten in Fig. 2 ist aus Darstellungsgründen ein Koordinatensystem eingezeichnet, das sich aus der x-Achse, aus der y-Achse und aus der z-Achse zusammensetzt, wobei die drei Richtungen alle zueinander orthogonal sind. Darüberhinaus ist die Drehrichtung durch  $\Omega_z$  um die z-Achse herum dargestellt. Obgleich im nachfolgenden lediglich lineare Sensoren diskutiert werden, ist es für Fachleute selbstverständlich, daß das erfindungsgemäße Konzept ohne weiteres auch auf Rotationsschwingungssensoren angewendet werden kann. Bezüglich der Austauschbarkeit zwischen linearen Schwingungen und Rotationsschwingungen wird beispielsweise auf die bereits erwähnte DE 10641284 C1 verwiesen. Bei den nachfolgend diskutierten erfindungsgemäßen Drehratensensoren wird aus Übersichtlichkeitsgründen eine lineare Anregungsschwingung in x-Richtung und eine Drehung des Drehratensensors insgesamt um die z-Achse angenommen, so daß sich eine Sekundärschwingung in Richtung der y-Achse aufgrund der auf den Drehratensensor wirkenden Coriolis-Kraft ergibt.

Die Anregungseinheit 100 umfaßt einen Primärschwinger 102, der durch die im vorliegenden Beispiel 4 eingezeichneten Kammantriebe in eine Primärschwingung in x-Richtung versetzt werden kann, wie es durch einen Pfeil 106 dargestellt ist. Die Anregungseinheit 100 umfaßt ferner neben den Kammantrieben als Erregungseinrichtung eine Primärschwingeraufhängung, die bei dem bevorzugten Ausführungsbeispiel, das in Fig. 2 gezeigt ist, aus Federbalken 108, Verankerungspunkten 110 und Verbindungsstrukturen 112 besteht. Die Federbalken 108

haben typischerweise eine rechteckige Querschnittsform, wobei die Federbalken bei einer Belastung derselben entlang der kleinen Seitenlänge eher elastisch sind, während sie bei einer Belastung derselben entlang der großen Seitenlänge eher starr sind. Die gewünschten absoluten Elastizitäts- bzw. Starrheits-Werte können ohne weiteres durch die Geometrie und das Material der Federbalken eingestellt werden. Wie es aus Fig. 2 ersichtlich ist, sind die Federbalken ferner derart eingebaut, daß die gesamte Primärschwingeraufhängung keine Bewegung des Primärschwingers in y-Richtung zuläßt.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß mit einem Basisbauglied verbundene Elemente durch ein Kreuz gekennzeichnet sind, was für die Verankerungspunkte 110 und die feststehenden Teile der Kammantriebe 104 zutrifft.

Der erfindungsgemäße Drehratensensor umfaßt ferner eine Probemasse 300, welche, wie es durch den mittig gezeichneten Doppelpfeil angedeutet ist, sowohl in x- als auch in y-Richtung auslenkbar ist. Die Probemasse ist durch die Anregungs-Probemasse-Kopplungseinrichtung mit dem Primärschwinger 102 über einen ersten Federbalken 202 und einen zweiten Federbalken 204 sowie eine starre Verbindungsstruktur 206 verbunden. Wie es aus Fig. 2 deutlich wird, sind die beiden Federbalken 202, 204 der Anregungs-Probemasse-Kopplungseinrichtung entlang der y-Richtung auslenkbar, während sie entlang der x-Richtung auf Zug bzw. Druck beansprucht werden und keine Elastizität aufweisen. Somit wird sichergestellt, daß zwar die Primärschwingung in x-Richtung vom Primärschwinger auf die Probemasse übertragen wird, daß jedoch keine Rückübertragung der Sekundärschwingung auf den Primärschwinger stattfinden kann, da die Sekundärschwingung der Probemasse aufgrund der Elastizität der Federbalken 202, 204 nicht auf den Primärschwinger rückübertragen wird.

Die Probemassen-Erfassung-Kopplungseinrichtung 400 umfaßt, wie es in Fig. 2 gezeigt ist, Federbalken 404, 406, eine

starre Verbindungsstruktur 408 zum Verbinden der beiden Federbalken 404, 406 sowie eine starre Verbindungsstruktur 410 zum Verbinden des Federbalkens 404 mit der Probemasse. Analog umfaßt die Probemassen-Erfassungs-Kopplungseinrichtung eine starre Verbindungsstruktur 412 zum Verbinden des Federbalkens 406 mit einem Sekundärschwinger 502 der Erfassungseinheit 500, auf die später eingegangen wird. Die starre Verbindungseinheit 408 ist keine Verankerung und somit nicht mit dem Basisbauglied verbunden, wie es auch durch die Darstellung in der Fig. 2 dargestellt ist, da mit dem Basisbauglied verbundene Einheiten stets durch ein Kreuz gekennzeichnet sind. Aus Fig. 2 ist zu sehen, daß die Federbalken 404, 406, welche parallel zu y-Achse angeordnet sind, in x-Richtung elastisch sind, so daß die Primärschwingung der Probemasse nicht auf den Sekundärschwinger 502 übertragen werden kann. Die Federbalken sind aufgrund ihrer Anordnung starr in y-Richtung, so daß die Sekundärschwingung sehr wohl zur Erfassungseinheit 500, welche den Sekundärschwinger 502 aufweist, übertragen werden kann.

Die Erfassungseinheit 500 umfaßt neben dem Sekundärschwinger 502 zwei Erfassungs-Elektrodenanordnungen 504, welche ebenso wie die Anregungscombdriives 104 jeweils aus einem feststehenden Teil und einem beweglichen Teil bestehen, wobei der bewegliche Teil mit dem Sekundärschwinger 502 in starrer Verbindung ist.

Die Erfassungseinheit 500 umfaßt ferner Verankerungen 508 sowie als weitere Bestandteile der Sekundärschwingeraufhängung Federbalken 510, 512. Aufgrund der Anordnung und Ausrichtung der Federbalken 510 und 512 ist erkennbar, daß die Federbalken bei einer Belastung des Sekundärschwingers in x-Richtung auf Zug bzw. Druck beansprucht werden, so daß der Sekundärschwinger 502 in x-Richtung keine Bewegung ausführen kann. Anders ist die Lage dagegen bei einer Kraft in y-Richtung auf den Sekundärschwinger 502. In diesem Fall können die Federbalken 510, 512 aufgrund ihres Querschnitts ausgelenkt werden, derart, daß der Sekundärschwinger die Sekun-

därschwingung durchführen kann, welche dann durch die Erfassungs-Elektrodenanordnungen 504 z. B. kapazitiv erfaßt werden kann. Alternative Erfassungsmethoden sind ebenfalls möglich.

Fig. 3 zeigt ein alternatives Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung, das im Unterschied zu Fig. 2 lediglich eine andere Ausgestaltung des Primärschwingers 102 aufweist. Im Gegensatz zu dem in Fig. 2 gezeigten Primärschwinger ist der Primärschwinger 102 von Fig. 3 als unterbrochener Rahmen ausgestaltet, wobei die Probemasse 300 innerhalb der Rahmenöffnung des Primärschwingers 102 angeordnet ist. Der Primärschwinger ist ebenso wie in Fig. 2 über vier Combdrives 104 in eine Primärschwingung versetzbar, welche über Federbalken 202, 204 auf die Probemasse übertragen wird. Die Federbalken 202, 204 der Anregungs-Probemasse-Kopplungseinrichtung sind in x-Richtung steif, da sie auf Zug bzw. Druck beansprucht werden, während sie in y-Richtung elastisch sind, so daß die Coriolis-Schwingung der Probemasse nicht auf den Primärschwinger 102 übertragen werden kann. Die Probemasse ist ferner wie in Fig. 2 über eine Probemassen-Erfassungs-Kopplungseinrichtung mit dem Sekundärschwinger 502 verbunden, wobei die Kopplungseinrichtung ebenso wie in Fig. 2 eine starre Verbindungseinrichtung 410, zwei Federbalken 404, 406 und eine weitere starre Verbindungseinrichtung 412 aufweist.

In Fig. 3 ist eine zu Fig. 2 alternative Ausgestaltung der Primärschwingeraufhängung zu sehen, welche ebenfalls aus Verankerungspunkten 110 und Federbalken 108 besteht, die wiederum so angeordnet sind, daß der Primärschwinger lediglich in x-Richtung ausgelenkt werden kann, jedoch nicht in y-Richtung, da in diesem Fall die Federbalken 108 auf Zug bzw. Druck beansprucht werden. Der Primärschwinger ist ferner nicht in z-Richtung auslenkbar, da hierbei eine Krümmung der steifen Seite nötig wäre, was aufgrund der bereits beschriebenen Querschnittsgeometrie der Balken jedoch nicht ohne weiteres möglich ist.



Das Funktionsprinzip der in den Fig. 2 und 3 gezeigten Drehratensensoren stellt sich noch einmal wie folgt dar. Über Combdriives 104 wird der Primärschwinger zu einer linearen Schwingung in x-Richtung angeregt. Die Primärschwingeraufhängung 108, 110 führt die Bewegung in x-Richtung und unterdrückt im Idealfall alle anderen Auslenkungen des Primärschwingers 102. Über die Federeinrichtung der Anregungs-Probemasse-Kopplungseinrichtung wird diese Primärschwingung auf die Probemasse 300, die auch als Coriolis-Schwinger bezeichnet werden kann, übertragen. Die Federeinrichtung der Anregungs-Probemasse-Kopplungseinrichtung 200 besitzt im Idealfall eine bestimmte endliche Federsteifigkeit in y-Richtung und jeweils eine unendlich hohe Federsteifigkeit für alle anderen Auslenkungen. Bei einer Drehung des Sensors um die z-Achse wird durch die auftretenden Coriolis-Kräfte eine zusätzliche Schwingung der Probemasse 300 in y-Richtung angeregt. Durch die Eigenschaften der Primärschwingeraufhängung wird diese Schwingung in y-Richtung nicht auf den Primärschwinger 102 übertragen. Dadurch wird ein Rückwirken der Coriolis-Kräfte auf die Primärschwingung bzw. auf die Anregungs- oder Erregungseinrichtung effektiv unterdrückt.

Durch die Kombination der Probemassen-Erfassungs-Kopplungseinrichtung und insbesondere deren Federbalken 404, 406, welche idealisiert gesagt eine bestimmte endliche Federsteifigkeit in x-Richtung haben und jeweils eine unendlich hohe Federsteifigkeit für alle anderen Auslenkungen haben, und der Sekundärschwingeraufhängung, die die Verankerungspunkte 508 und die Federbalken 510, 512 aufweist, kann die Schwingung der Probemasse in x-Richtung nicht auf den Sekundärschwinger 502 übertragen werden. Eine Bewegung der Probemasse in y-Richtung kann dagegen auf den Sekundärschwinger 502 übertragen werden und mit den Erfassungs-Elektroden bzw. Erfassungs-Combdriives, differentiell gemessen werden, wodurch das Meßsignal 700 proportional zur Drehrate erhalten wird.

Im nachfolgenden wird auf Fig. 4 Bezug genommen, das ein er-

findungsgemäßes Drehratensensorsystem darstellt, welches sich aus einem ersten Drehratensensor und einem zweiten Drehratensensor zusammensetzt, deren Primärschwinger über eine Primärkopplungseinrichtung 800 miteinander gekoppelt sind. Sowohl der erste Drehratensensor als auch der zweite Drehratensensor sind identisch zu dem in Fig. 3 gezeigten und beschriebenen Drehratensensor gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung ausgeführt. Die Primärkopplungseinrichtung 800 umfaßt vier Federbalken, wobei jeweils, wie es in Fig. 4 gezeigt ist, zwei Federbalken über eine steife Verbindungseinrichtung miteinander verbunden sind, wobei diese Verbindungseinrichtung jedoch nicht mit dem Basisbauglied, auf dem das Drehratensensorsystem aufgebaut ist, verbunden sind. Damit wird sichergestellt, daß die gegenphasige Bewegung der beiden Primärschwinger eine echte Eigenschwingung darstellt. Dies hat zum Vorteil, daß im geregelten Betrieb die Primärschwingung mit einer einzigen gemeinsamen Regelung, die typischerweise einen Amplitudenregler und einen Phasenregler, betrieben werden kann. Die Differenz der Ausgangssignale der Erfassungseinrichtungen des linken und des rechten Drehratensensors liefert dann das Drehratensignal. Störsignale durch Beschleunigung und Vibrationen, welche auf beide Drehratensensoren gleichphasig auftreten, werden dabei automatisch unterdrückt bzw. sehr stark reduziert.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß es sich bei dem Drehratensensorsystem von Fig. 4 um zwei miteinander gekoppelte mechanische Schwinger handelt, wobei ein prominentes Beispiel für ein solches Schwingersystem eine Stimmgabel ist. Ein solches System von gekoppelten Schwingern führt bei einer bestimmten ersten Eigenfrequenz eine gleichphasige Schwingung durch, derart, daß beide Primärschwinger gleichzeitig nach links bzw. nach rechts ausgelenkt werden. Aufgrund der bereits dargestellten Unterdrückung gleichphasiger Störungen wird jedoch der gegenphasige Modus bevorzugt, der eine etwas höhere Eigenfrequenz als der gleichphasige Modus hat. In diesem Modus stellt sich eine Eigenschwingung des

Systems ein, derart, daß sich die beiden Schwinger automatisch aufeinander synchronisieren und daß damit die anzusteuern den insgesamt acht Combdriives mittels einer einzigen Ansteuerung betrieben werden können, wobei immer zwei in Fig. 4 vertikal übereinander gezeichnete Combdriives zusammengeschlossen sind. Aufgrund der gegenphasigen Schwingung müssen die in Fig. 4 links vom linken Primärschwinger dargestellten Combdriives gleichphasig mit den rechts vom zweiten Drehratensensor dargestellten Anregungscombdriives angesteuert werden, während die inneren Combdriives zwischen den beiden Primärschwingern gleichphasig zueinander, jedoch gegenphasig zu den äußeren Combdriives angesteuert werden müssen.

Eine weitere Verfeinerung zeigt das in Fig. 5 gezeigte Drehratensensorsystem, bei dem zwei Drehratensensoren von Fig. 2 ähnlich wie in Fig. 4 über die Primärkopplungseinrichtung 800 hinsichtlich ihrer Primärschwinger gekoppelt sind. Zusätzlich zu dem in Fig. 4 gezeigten Drehratensensorsystem ist jedoch in Fig. 5 ebenfalls eine Sekundärkopplungseinrichtung 900 vorgesehen, so daß auch die Sekundärschwinger der Erfassungseinrichtungen des ersten und des zweiten Drehratensensors miteinander gekoppelt sind, so daß neben den Primärschwingern der beiden Drehratensensoren auch die Sekundärschwinger der beiden Drehratensensoren eine echte gegenphasige Eigenschwingung ausführen können.

Der Vorteil der Kopplung der Sekundärschwinger der beiden Drehratensensoren besteht vor allem beim sogenannten kraftkompensierten Betrieb der Sekundärschwingung. Im kraftkompensierten Betrieb wird versucht, durch Ansteuerung der Erfassungs-Elektrodenanordnungen mit geeigneten elektrischen Signalen die Auslenkung des Sekundärschwingers auf Null zu halten. Die Coriolis-Kraft wird somit durch Anlegen entsprechender Spannungen an die Erfassungs-Elektrodenanordnungen der Erfassungseinheit kompensiert, so daß das zur Kompensation nötige elektrische Signal ein Maß für die Coriolis-Kraft und damit für die auf den Sensor wirkende Drehrate

ist.

Da auch die Sekundärschwingung der beiden Sekundärschwinger eine echte Eigenschwingung darstellt, kann das Drehraten-sensorsystem mit einer einzigen Regelung für beide Sekundärschwinger betrieben werden, da die beiden Sekundärschwinger eine exakt gegenphasige Schwingung aufgrund der Primärkopplungseinrichtung 900 ausführen.

Patentansprüche

1. Drehratensensor zum Erfassen einer Drehung desselben um eine Drehachse, mit folgenden Merkmalen:

einem Substrat;

einer Probemasse (300) zum Ausführen einer Primärschwingung und einer Sekundärschwingung aufgrund der Coriolis-Kraft;

einer Anregungseinheit (100), die folgende Merkmale aufweist:

einen Primärschwinger (102),

eine Erregungseinrichtung (104) zum Anregen einer Primärschwingung des Primärschwingers (102); und

eine Primärschwingeraufhängung (108, 110, 112), die derart ausgestaltet ist, daß sie den Primärschwinger (102) gegenüber dem Basisbauglied so hält, daß der Primärschwinger die Primärschwingung ausführen kann, und daß eine Auslenkung in Richtung der Sekundärschwingung im wesentlichen unterbunden ist;

einer Erfassungseinheit (500), die folgende Merkmale aufweist:

einen Sekundärschwinger (502);

eine Sensoreinrichtung (504) zum Erfassen der Sekundärschwingung des Sekundärschwingers (502); und

einer Sekundärschwingeraufhängung (508, 510, 512), die derart ausgestaltet ist, daß sie den Sekundärschwinger gegenüber dem Basisbauglied so hält, daß der Sekundärschwinger die Sekundärschwingung ausfüh-

ren kann, und daß eine Auslenkung des Sekundärschwingers in Richtung der Primärschwingung im wesentlichen unterbunden ist;

einer Anregungs-Probemasse-Kopplungseinrichtung (200) zum Übertragen der Primärschwingung von dem Primärschwinger (106) der Anregungseinrichtung (100) auf die Probemasse (300), wobei die Anregungs-Probemasse-Kopplungseinrichtung eine Federeinrichtung (202, 204) aufweist, die in Richtung der Sekundärschwingung elastisch ist und in Richtung der Primärschwingung im wesentlichen steif ist; und

einer Probemasse-Erfassungs-Kopplungseinrichtung (400) zum Übertragen der Sekundärschwingung von der Probemasse (300) auf den Sekundärschwinger (502) der Erfassungseinheit (500), wobei die Probemasse-Erfassungs-Kopplungseinrichtung (400) eine Federeinrichtung (406, 408, 410, 412) aufweist, die in Richtung der Primärschwingung elastisch ist und in Richtung der Sekundärschwingung im wesentlichen steif ist.

2. Drehratensensor nach Anspruch 1,

bei dem die Primärschwingeraufhängung, die Sekundärschwingeraufhängung, die Anregungs-Probemassen-Kopplungseinrichtung und die Probemassen-Erfassungs-Kopplungseinrichtung eine Mehrzahl von Federbalken aufweisen, wobei jeder Federbalken einen im wesentlichen rechteckigen Querschnitt mit einer langen und einer kurzen Seite aufweist, wobei die kurze Seite des Federbalkens in der Richtung angeordnet ist, in der die jeweilige Einrichtung bzw. Aufhängung elastisch ist, wobei die lange Seitenlänge des Federbalkens in einer Richtung angeordnet ist, in der die jeweilige Einrichtung bzw. Aufhängung der Federbalken im wesentlichen steif ist, und wobei der Federbalken ferner so eingebaut ist, daß er in der dritten Richtung, in der die

jeweilige Einrichtung bzw. Aufhängung im wesentlichen steif ist, entlang seiner Längsachse belastet wird.

3. Drehratensensor nach Anspruch 1 oder 2, bei dem sowohl die Erregungseinrichtung (100) als auch die Sensoreinrichtung eine elektrostatische Kammstruktur umfassen.
4. Drehratensensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Primärschwingeraufhängung folgende Merkmale aufweist:

zumindest je zwei Verankerungspunkte auf zwei gegenüberliegenden Seiten des Primärschwingers (102);

zwei starre Verbindungsstrukturen (112);

erste Federbalken (108) zwischen den Verankerungspunkten und der Verbindungsstruktur (112);

zweite Federbalken zwischen dem Primärschwinger (102) und der starren Verbindungsstruktur (112), so daß kein Federbalken den Primärschwinger direkt mit einem Verankerungspunkt (110) verbindet.

5. Drehratensensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Anregungs-Probemassen-Kopplungseinrichtung zwei Federbalken (202, 204) aufweist, die zwischen dem Primärschwinger und der Probemasse so angeordnet sind, daß die Primärschwingung entlang ihrer Längsachse gerichtet ist, um eine starre Übertragung der Primärschwingung von dem Primärschwinger auf die Probemasse sicherzustellen.
6. Drehratensensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Probemassen-Erfassungs-Kopplungseinrichtung zumindest zwei Federbalken (404, 406) und eine steife Verbindungsstruktur (408) aufweist, wobei ein Federbalken die Probemasse mit der Verbindungsstruktur

verbindet und der andere Federbalken die Verbindungsstruktur mit dem Sekundärschwinger verbindet,

wobei die beiden Balken parallel zueinander sind und so angeordnet sind, daß die Sekundärschwingung entlang ihrer Längsachse wirkt, um eine starre Übertragung der Sekundärschwingung sicherzustellen.

7. Drehratensensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der Primärschwinger im wesentlichen rahmenförmig ist und eine Rahmenöffnung aufweist, und bei dem die Probemasse in der Rahmenöffnung des Primärschwingers angeordnet ist.
8. Drehratensensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Primärschwingung eine lineare Schwingung parallel zur x-Achse ist, der Drehratensensor um eine z-Achse gedreht wird, und die Sekundärschwingung aufgrund der Coriolis-Kraft als lineare Bewegung parallel zur y-Achse stattfindet, wobei die x-, die y- und die z-Achse zueinander orthogonal sind.
9. Drehratensensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Primärschwingeraufhängung, die Sekundärschwingeraufhängung, die Anregungs-Probemasse-Kopplungseinrichtung und die Probemasse-Erfassungs-Kopplungseinrichtung grundsätzlich jeweils drei lineare und drei rotatorische Freiheitsgrade aufweisen, und wobei die Primärschwingeraufhängung, die Sekundärschwingeraufhängung, die Anregungs-Probemasse-Kopplungseinrichtung und die Probemasse-Erfassungs-Kopplungseinrichtung so ausgestaltet sind, daß immer fünf der sechs Freiheitsgrade im wesentlichen unterbunden sind, während nur ein einziger Freiheitsgrad nicht unterbunden ist.
10. Drehratensensorsystem mit folgenden Merkmalen:  
  
einem ersten Drehratensensor nach einem der vorherge-



henden Ansprüche;

einem zweiten Drehratensensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche;

einer Primärkopplungseinrichtung (800) zum Koppeln des Primärschwingers des ersten Drehratensensors mit dem Primärschwinger des zweiten Drehratensensors.

11. Drehratensensorsystem nach Anspruch 10, das ferner folgendes Merkmal aufweist:

eine Sekundärkopplungseinrichtung (900) zum Koppeln des Sekundärschwingers des ersten Drehratensensors mit dem Sekundärschwinger des zweiten Drehratensensors.

12. Drehratensensorsystem nach Anspruch 10 oder 11, das ferner folgendes Merkmal aufweist:

eine Regelung zum gemeinsamen Anregen sowohl des ersten Drehratensensors als auch des zweiten Drehratensensors.

13. Drehratensensorsystem nach Anspruch 11 oder 12, das angeordnet ist, um in einem Kraftkompensations-Betriebsmodus betrieben zu werden, und das ferner folgendes Merkmal aufweist:

eine Regelung zum gemeinsamen Betreiben sowohl des Sekundärschwingers des ersten Drehratensensors als auch des Sekundärschwingers des zweiten Drehratensensors.

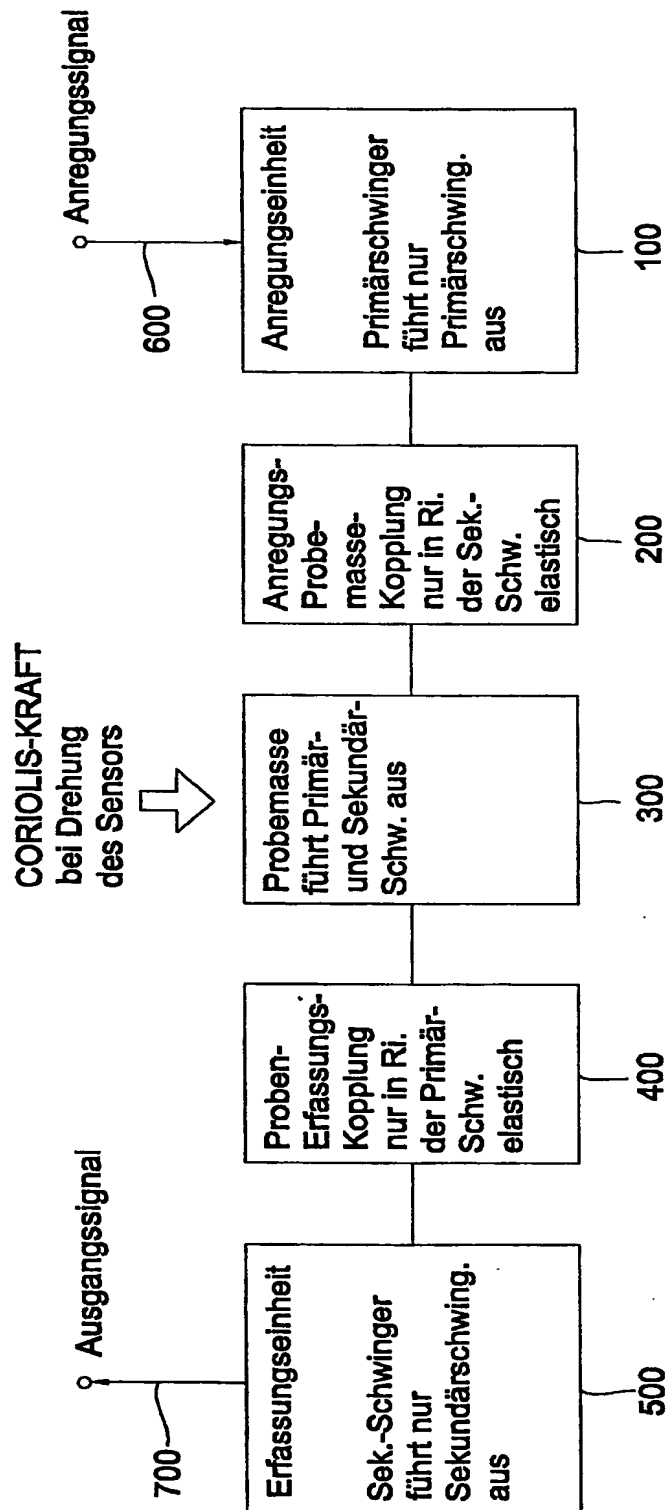
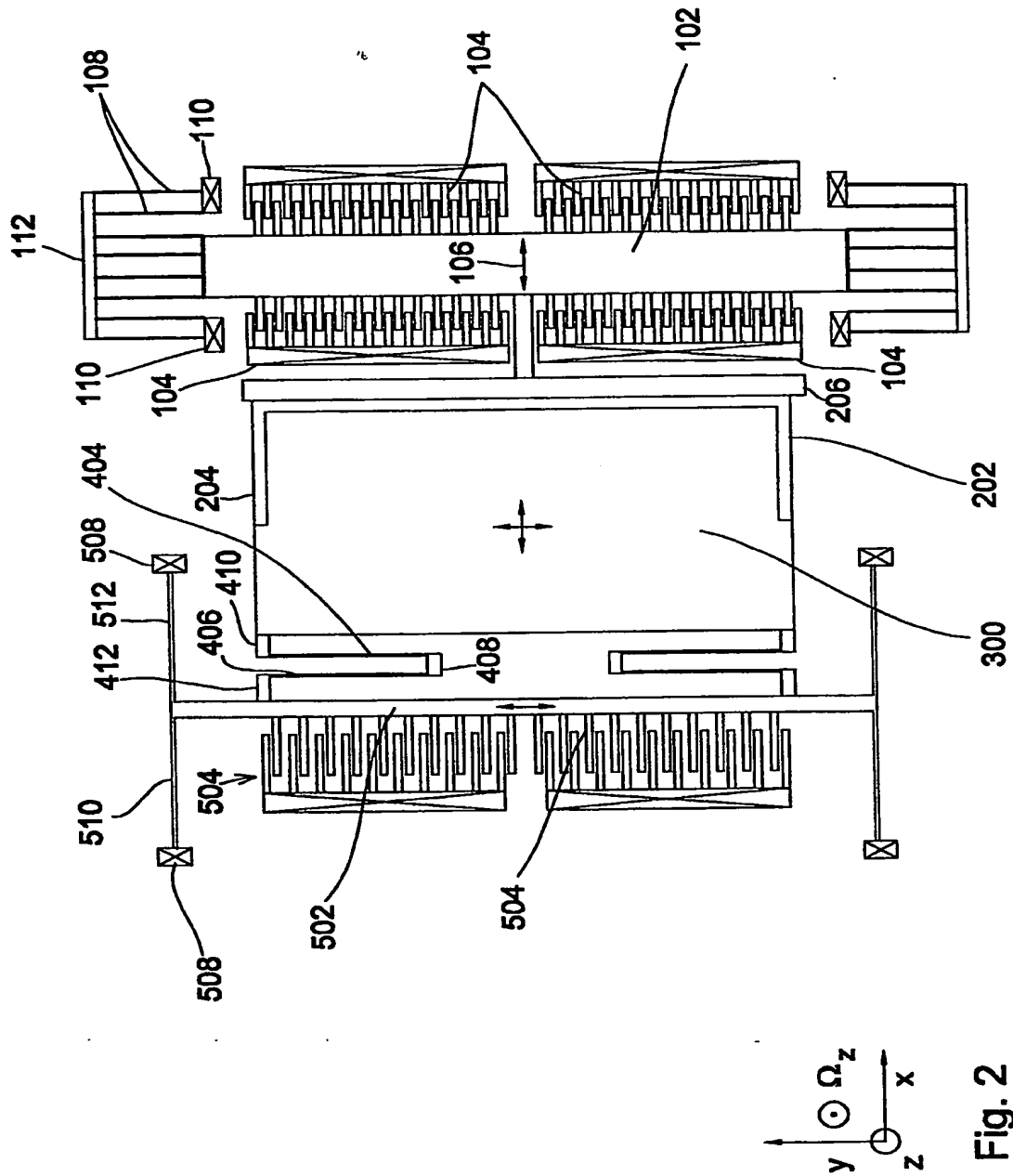
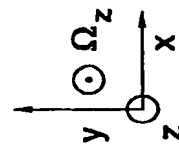
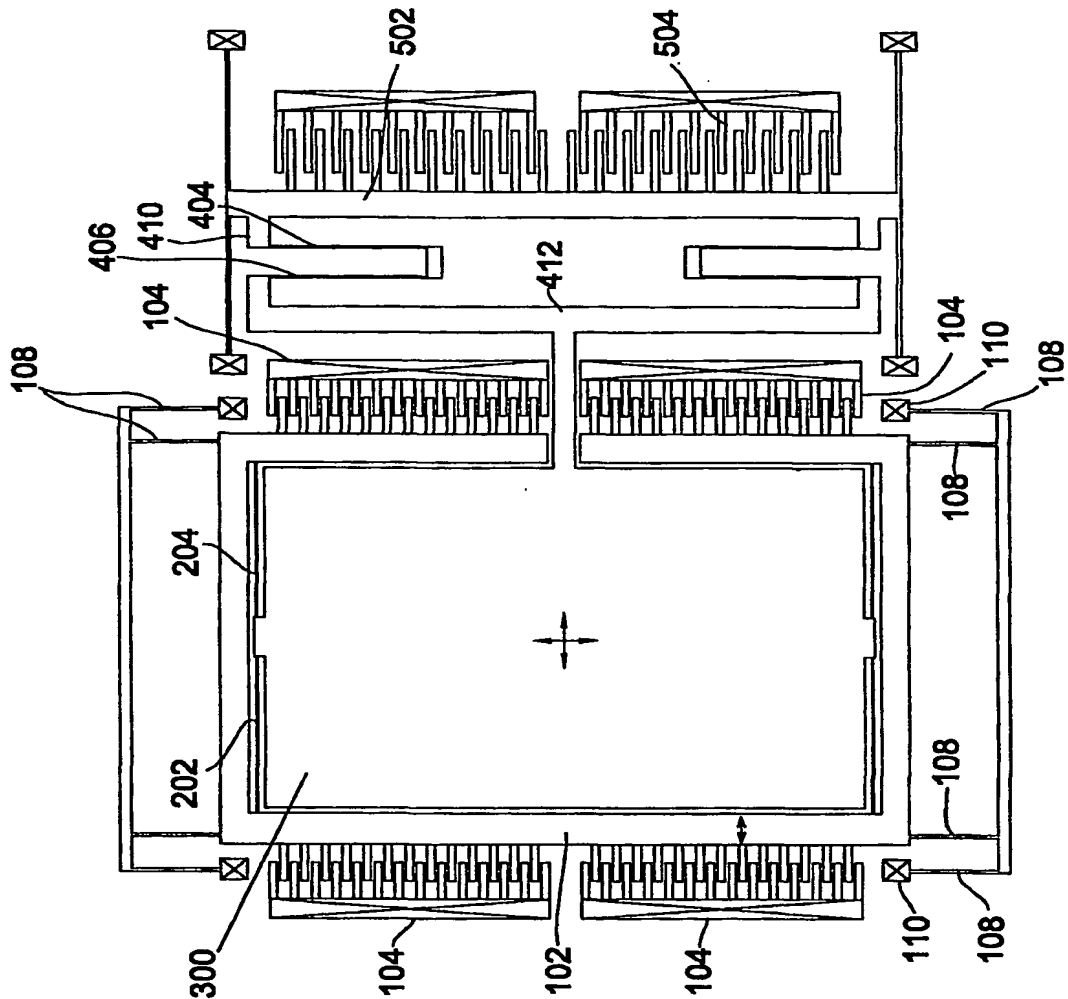


Fig. 1





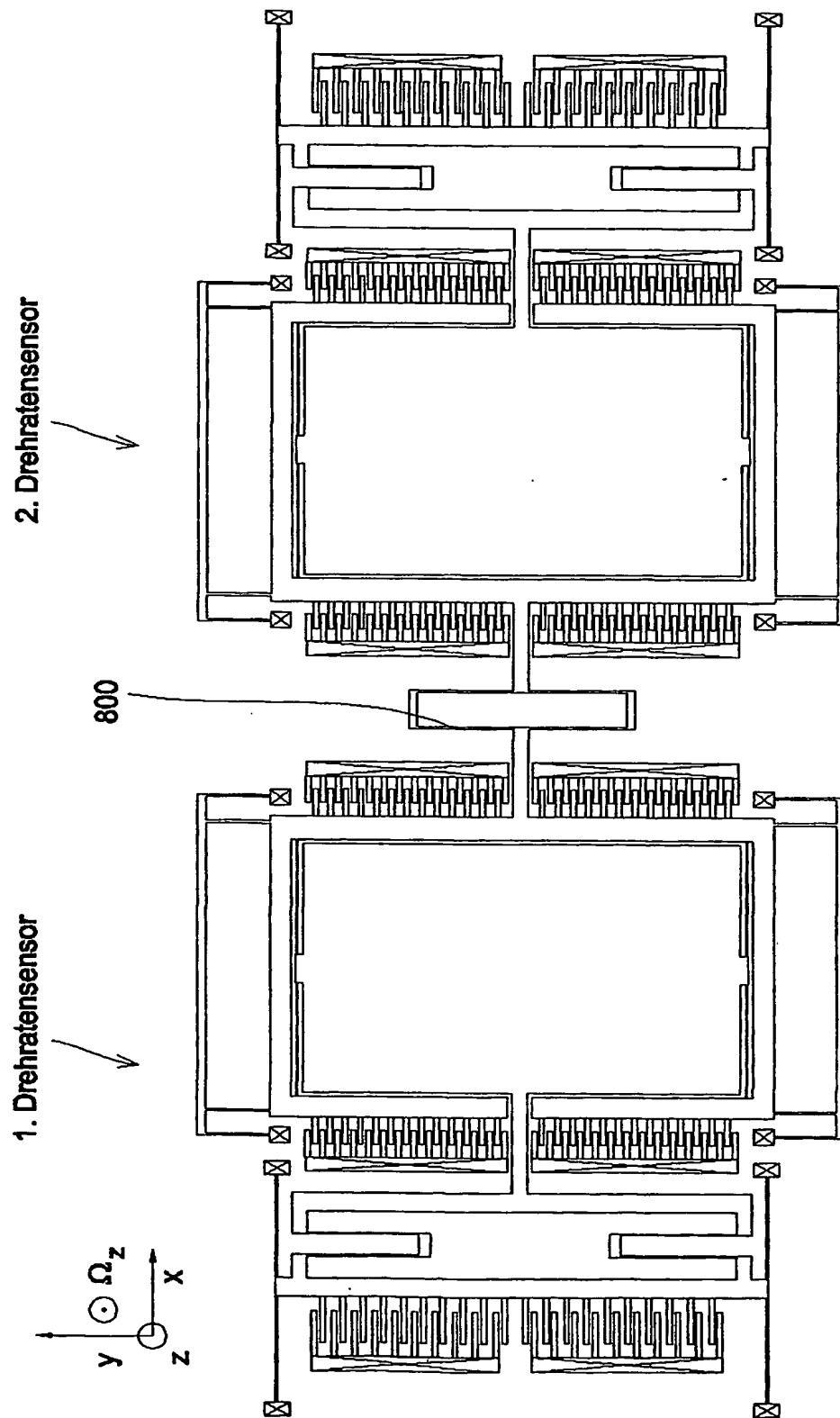


Fig. 4

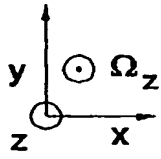
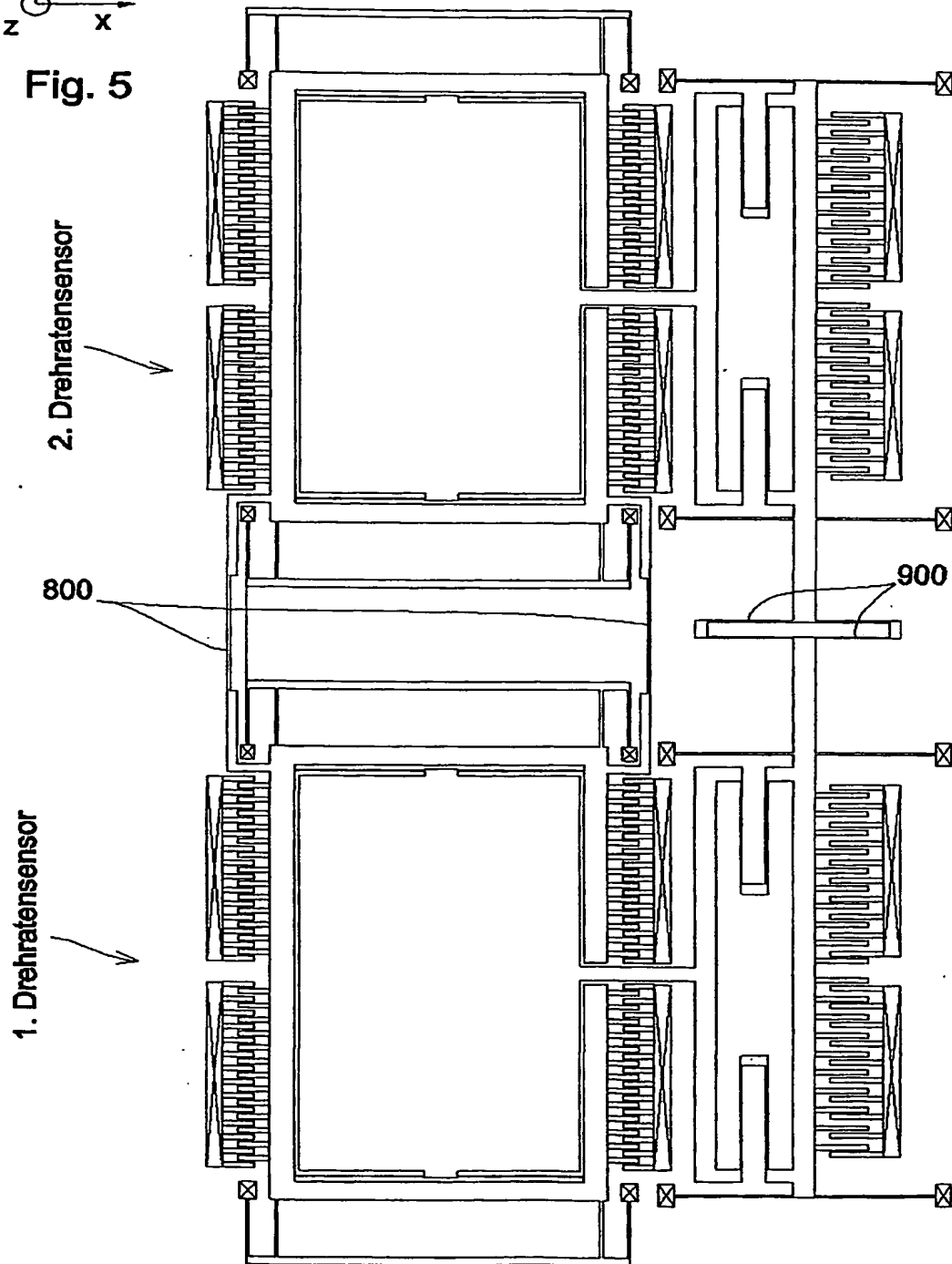


Fig. 5



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. Application No  
PCT/EP 01/09400

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 G01C19/56

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01C G01P

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 196 41 284 C (INST MIKRO UND INFORMATIONSTEC) 20 May 1998 (1998-05-20) cited in the application column 5, line 36 -column 15, line 19; figures 2,3,5	1-13
A	DE 44 14 237 A (BOSCH GMBH ROBERT) 26 October 1995 (1995-10-26) the whole document	1-13
A	DE 44 28 405 A (KARLSRUHE FORSCHZENT) 15 February 1996 (1996-02-15) the whole document	1-13
A	WO 99 12002 A (ANALOG DEVICES INC) 11 March 1999 (1999-03-11) cited in the application the whole document	1-13
	-/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

\*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

\*E\* earlier document but published on or after the international filing date

\*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

\*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

\*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*Z\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

15 November 2001

Date of mailing of the international search report

23/11/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Springer, O

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int al Application No  
PCT/EP 01/09400

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>WO 00 29855 A (IRVINE SENSORS CORP) 25 May 2000 (2000-05-25) cited in the application the whole document</p>	1-13



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No  
PCT/EP 01/09400

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 19641284	C	20-05-1998	DE 19641284 C1 DE 59700804 D1 WO 9815799 A1 EP 0906557 A1 JP 2000509812 T	20-05-1998 05-01-2000 16-04-1998 07-04-1999 02-08-2000
DE 4414237	A	26-10-1995	DE 4414237 A1 WO 9529383 A1 DE 19580372 D2 GB 2302177 A ,B JP 9512106 T US 5895850 A	26-10-1995 02-11-1995 04-12-1997 08-01-1997 02-12-1997 20-04-1999
DE 4428405	A	15-02-1996	DE 4428405 A1 DE 59505604 D1 WO 9605480 A1 EP 0775290 A1	15-02-1996 12-05-1999 22-02-1996 28-05-1997
WO 9912002	A	11-03-1999	US 6122961 A EP 1009971 A2 JP 2001515201 T WO 9912002 A2	26-09-2000 21-06-2000 18-09-2001 11-03-1999
WO 0029855	A	25-05-2000	EP 1023607 A2 WO 0029855 A1	02-08-2000 25-05-2000

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP 01/09400

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
IPK 7 G01C19/56

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RESEARCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 G01C G01P

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 196 41 284 C (INST MIKRO UND INFORMATIONSTEC) 20. Mai 1998 (1998-05-20) in der Anmeldung erwähnt Spalte 5, Zeile 36 - Spalte 15, Zeile 19; Abbildungen 2,3,5 ---	1-13
A	DE 44 14 237 A (BOSCH GMBH ROBERT) 26. Oktober 1995 (1995-10-26) das ganze Dokument ---	1-13
A	DE 44 28 405 A (KARLSRUHE FORSCHZENT) 15. Februar 1996 (1996-02-15) das ganze Dokument ---	1-13
A	WO 99 12002 A (ANALOG DEVICES INC) 11. März 1999 (1999-03-11) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument ---	1-13
-/-		

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- \*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- \*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- \*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- \*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- \*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

15. November 2001

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

23/11/2001

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Springer, O

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP 01/09400

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>WO 00 29855 A (IRVINE SENSORS CORP)  25. Mai 2000 (2000-05-25)  in der Anmeldung erwähnt  das ganze Dokument</p> <p>-----</p>	1-13

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

In ☐ nationales Aktenzeichen

PCT/EP 01/09400

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 19641284	C	20-05-1998	DE 19641284 C1	20-05-1998
			DE 59700804 D1	05-01-2000
			WO 9815799 A1	16-04-1998
			EP 0906557 A1	07-04-1999
			JP 2000509812 T	02-08-2000
DE 4414237	A	26-10-1995	DE 4414237 A1	26-10-1995
			WO 9529383 A1	02-11-1995
			DE 19580372 D2	04-12-1997
			GB 2302177 A , B	08-01-1997
			JP 9512106 T	02-12-1997
			US 5895850 A	20-04-1999
DE 4428405	A	15-02-1996	DE 4428405 A1	15-02-1996
			DE 59505604 D1	12-05-1999
			WO 9605480 A1	22-02-1996
			EP 0775290 A1	28-05-1997
WO 9912002	A	11-03-1999	US 6122961 A	26-09-2000
			EP 1009971 A2	21-06-2000
			JP 2001515201 T	18-09-2001
			WO 9912002 A2	11-03-1999
WO 0029855	A	25-05-2000	EP 1023607 A2	02-08-2000
			WO 0029855 A1	25-05-2000